饲用甘露聚糖酶转基因玉米对肉鸡生长性能、屠宰性能及血清生理生化指标的影响

孟　昆　陈桂兰　刘国华　杨培龙　姚　斌*

（中国农业科学院饲料研究所，农业部饲料生物技术重点开放实验室，北京　100081）

摘　要：本试验旨在研究甘露聚糖酶转基因玉米对肉鸡生长性能、屠宰性能及血清生理生化指标的影响。试验选择 1 日龄爱拔益加（AA）肉鸡 480 只，随机分成 4 个组，每组 6 个重复，每个重复 20 只鸡。4 个组安排如下：组Ⅰ为非转基因玉米的对照组，不添加甘露聚糖酶；组Ⅱ为非转基因玉米添加低剂量微生物来源甘露聚糖酶组，甘露聚糖酶活力 500 U/kg；组Ⅲ为低剂量甘露聚糖酶转基因玉米组，甘露聚糖酶活力 500 U/kg；组Ⅳ为高剂量甘露聚糖酶转基因玉米组，甘露聚糖酶活力 5 000 U/kg。试验期 42 d。结果表明：与对照组相比，组Ⅲ和Ⅳ 42 日龄肉鸡平均日增重有显著提高（P<0.05），组Ⅳ料重比显著降低（P<0.05）。组Ⅳ 42 日龄肉鸡屠宰率和全净膛率显著高于组Ⅱ和对照组（P<0.05）。组Ⅱ、Ⅲ和Ⅳ 21 和 42 日龄肉鸡的血液生理生化指标与对照组均没有显著差异（P>0.05）。由此可见，饲粮中添加甘露聚糖酶转基因玉米能提高受试肉鸡的生长性能和屠宰性能，但对血液生理生化指标没有显著影响。

关键词：甘露聚糖酶转基因玉米；屠宰性能；生长性能；肉鸡

中图分类号：S816.4；S831.5

收稿日期：2015-07-13

基金项目：转基因生物新品种培育重大专项(2013ZX08011-005，2013ZX08003-002)；国家肉鸡产业技术体系(CARS-42-G16)

作者简介：孟　昆（1971—），男，吉林怀德人，研究员，博士，主要从事转基因饲料安全评价研究。E-mail: mengkun@caas.cn

*通信作者：姚　斌，研究员，博士生导师，E-mail: yaobin@caas.cn; binyao@caas.cn

β-甘露聚糖是饲料中的一类抗营养因子，作为植物细胞壁的成分之一，与其他非淀粉多糖围绕或束缚细胞中营养物质，可增加消化道内容物的黏度，影响营养物质的消化与吸收。除此之外，β-甘露聚糖还能影响胰岛素、类胰岛素生长因子-1 的分泌和畜禽的生长性能[1]。β-甘露聚糖酶是广泛应用的饲用酶制剂。单胃动物对于饲料中植物细胞壁的消化能力有限，通过添加β-甘露聚糖酶能有效分解饲料中的β-甘露聚糖，降低其抗营养作用，提高葡萄糖吸收速率，促进碳水化合物代谢过程，显著提高饲粮能量利用率，此酶的使用能促进动物生长，提高抗病力，降低饲料成本[2]。同其他广泛使用的饲用工业酶制剂一样，目前饲料中应用的β-甘露聚糖酶都是通过大规模发酵制备，而转基因作物为生产饲用β-甘露聚糖酶提供了新的途径。将外源基因导入作物使其天然表达并培育为饲用转基因作物，因而这类作物在作为动物饲料使用时可避免酶制剂的微生物发酵、添加等过程，从而实现绿色生产酶制剂，具有很高的应用前景和社会、经济及生态效益。玉米作为饲料主粮比其他植物更具有饲用酶生物反应器的优势，植酸酶玉米的研制成功已为进一步开发转基因饲料提供了依据和实例[3]。Xu 等[4]通过转基因技术获得甘露聚糖酶转基因玉米，发现外源的β-甘露聚糖酶基因能在转基因玉米籽粒中高效表达和稳定遗传，具有饲料工业的应用潜力。通过畜禽动物进行安全性评价为判断转基因作物作为饲料原料使用是否对畜禽产生非预期效应提供有效的依据，饲粮对受试动物营养相关性能及指标的影响是转基因生物饲用安全性评价中的重要内容。上述甘露聚糖酶转基因玉米的饲用安全性评价工作尚未进行，本研究旨在以甘露聚糖酶转基因玉米为材料，评价其对肉鸡生长性能、屠宰性能及血液生理生化指标的影响，从而获取其初步的饲用安全性评价结果，这一工作将为其产业化的进程提供依据。

1　材料与方法

1.1　试验材料及饲粮设计

试验用甘露聚糖酶转基因玉米种子由中国农业科学院饲料所提供，种子所含甘露聚糖酶活力约为 10 000 U/kg[4]。试验选择 1 日龄爱拔益加（AA）肉鸡 480 只随机分为 4 个组进行饲喂，每组 6 个重复，每个重复 20 只鸡。4 个组安排如下：组Ⅰ为非转基因玉米的对照组，不添加甘露聚糖酶；组Ⅱ为非转基因玉米添加低剂量微生物来源甘露聚糖酶组，甘露聚糖酶活力 500 U/kg；组Ⅲ为低剂量甘露聚糖酶转基因玉米组，甘露聚糖酶活力 500 U/kg；组Ⅳ为高剂量甘露聚糖酶转基因玉米组，甘露聚糖酶活力 5 000 U/kg。每组设 5 个重复，试验期分为 1～21、22～42 日龄 2 个阶段。每个阶段各组饲粮营养水平一致，试验鸡自由采食粉料、饮水，笼养。试验于中国农业科学院饲料研究所南口试验基地完成，其他日常管理按照常规进行。

1.2　试验饲粮

试验饲粮配制根据我国《鸡饲养标准》（NY/T 33-2004）中肉鸡营养需要，参照测定的玉米中各营养成分含量配制饲粮，1~21 日龄和 22~42 日龄试验饲粮组成及营养水平分别见表 1 和表 2。

表 1　1~21 日龄试验饲粮组成及营养水平（干物质基础）

Table 1　Composition and nutrient levels of experimental diets at the age of 1 to 21 days (DM basis)　%

项目 Items	非转基因玉米组 Non-transgenic corn group		转基因玉米组 Transgenic corn group	
	组Ⅰ Group Ⅰ	组Ⅱ Group Ⅱ	组Ⅲ Group Ⅲ	组Ⅳ Group Ⅳ
原料 Ingredients				
转基因玉米 Transgenic corn			5.00	49.31
非转基因玉米 Non-transgenic corn	49.31	49.31	44.31	
植物油 Plant oil	4.21	4.21	4.21	4.21
豆粕 Soybean meal	29.86	29.86	29.86	29.86
棉籽粕 Cottonseed meal	4.00	4.00	4.00	4.00
菜籽粕 Rapeseed meal	4.00	4.00	4.00	4.00
棕榈粕 Palm meal	4.00	4.00	4.00	4.00
食盐 NaCl	0.30	0.30	0.30	0.30
磷酸氢钙 $CaHPO_4$	1.86	1.86	1.86	1.86
石粉 Limestone	1.13	1.13	1.13	1.13
赖氨酸盐酸盐 Lys • HCl	0.13	0.13	0.13	0.13
DL-蛋氨酸 *DL*-Met	0.17	0.17	0.17	0.17
L-苏氨酸 *L*-Thr	0.03	0.03	0.03	0.03
预混料 Premix1)	1.00	1.00	1.00	1.00

合计 Total	100.00	100.00	100.00	100.00
营养水平 Nurient levels[2)]				
代谢能 ME/(MJ/kg)	12.22	12.22	12.22	12.22
粗蛋白质 CP	21.00	21.00	21.00	21.00
粗脂肪 EE	7.60	7.60	7.60	7.60
钙 Ca	1.00	1.00	1.00	1.00
总磷 TP	0.67	0.67	0.67	0.67
有效磷 AP	0.42	0.42	0.42	0.42
赖氨酸 Lys	1.15	1.15	1.15	1.15
蛋氨酸 Met	0.48	0.48	0.48	0.48
蛋氨酸+半胱氨酸 Met+Cys	0.82	0.82	0.82	0.82

1) 预混料为每千克饲粮提供 Premix provided the following per kg of diets：VA 10 000 IU，VD_3 2 000 IU，VE 10 IU，VB_1 1.8 mg，VB_2 4.0 mg，VB_{12} 0.71 mg，VK_3 2.5 mg，泛酸 pantothenate 11.0 mg，叶酸 folic acid 0.5 mg，生物素 biotin 0.12 mg，胆碱 choline 1 000 mg，Zn 40.0 mg，Mn 60.0 mg，Fe 80.0 mg，Cu 8.0 mg，I 0.35 mg，Se 0.15 mg，金霉素 aureomycin 50 mg。

2) 营养水平均为计算值。表 2 同。Nutrient levels were calculated values. The same as Table 2.

表 2　22~42 日龄试验饲粮组成及营养水平（干物质基础）

Table 2　Composition and nutrient levels of experimental diets at the age of 22 to 42 days (DM basis)　　%

项目 Items	非转基因玉米组 Non-transgenic corn group		转基因玉米组 Transgenic corn group	
	组Ⅰ Group Ⅰ	组Ⅱ Group Ⅱ	组Ⅲ Group Ⅲ	组Ⅳ Group Ⅳ
原料 Ingredients				
转基因玉米 Transgenic corn			5.00	50.00
非转基因玉米 Non-transgenic corn	52.83	52.83	47.83	2.83
植物油 Plant oil	5.17	5.17	5.17	5.17
豆粕 Soybean meal	21.86	21.86	21.86	21.86
棉籽粕 Cottonseed meal	6.00	6.00	6.00	6.00
菜籽粕 Rapeseed meal	6.00	6.00	6.00	6.00
棕榈粕 Palm meal	4.00	4.00	4.00	4.00
食盐 NaCl	0.30	0.30	0.30	0.30
磷酸氢钙 $CaHPO_4$	1.62	1.62	1.62	1.62
石粉 Limestone	0.90	0.90	0.90	0.90
赖氨酸盐酸盐 Lys・HCl	0.15	0.15	0.15	0.15

DL-蛋氨酸 *DL*-Met	0.13	0.13	0.13	0.13
L-苏氨酸 *L*-Thr	0.04	0.04	0.04	0.04
预混料 Premix	1.00	1.00	1.00	1.00
合计 Total	100.00	100.00	100.00	100.00
营养水平 Nurient levels				
代谢能 ME/(MJ/kg)	12.56	12.56	12.56	12.56
粗蛋白质 CP	19.50	19.50	19.50	19.50
粗脂肪 EE	8.49	8.49	8.49	8.49
钙 Ca	0.85	0.85	0.85	0.85
总磷 TP	0.63	0.63	0.63	0.63
有效磷 AP	0.38	0.38	0.38	0.38
赖氨酸 Lys	1.03	1.03	1.03	1.03
蛋氨酸 Met	0.43	0.43	0.43	0.43
蛋氨酸+半胱氨酸 Met+Cys	0.76	0.76	0.76	0.76

预混料为每千克饲粮提供 Premix provided the following per kg of diets：VA 8 000 IU，VD_3 1 500 IU，VE 8 IU，VB_1 1.5 mg，VB_2 3.0 mg，VB_{12} 0.35 mg，VK_3 2.0 mg，泛酸 pantothenate 10.0 mg，叶酸 folic acid 0.3 mg，生物素 biotin 0.10 mg，胆碱 choline 750 mg，Zn 40.0 mg，Mn 60.0 mg，Fe 80.0 mg，Cu 8.0 mg，I 0.35 mg，Se 0.15 mg，金霉素 aureomycin 50 mg。

1.3 生长性能与屠宰性能检测

生长性能：试验期间，以重复为单位详细记录采食量，鸡只死淘数。21 和 42 日龄时，空腹 12 h，以重复为单位称重，计算平均日增重、平均日采食量和料重比。

屠宰性能：42 日龄时，每个重复随机挑选 3 只接近平均体重的鸡进行屠宰、取样，测定其屠宰率、全净膛率、胸肌率、腿肌率、腹脂率。测定方法参照《家禽生产性能名词术语和度量统计方法》（NY/T 823-2004）。

1.4 血清生理生化指标检测

分别于21和42日龄禁食12 h后，从每个重复笼中选取平均体重接近的3只鸡，翅静脉采血，采用肝素钠处理过抗凝管取抗凝血，采用促凝管取血清。用KX-21型号血细胞自动分析仪（SYSMEX，日本）测定血液中白细胞数（WBC）、红细胞数（RBC）、血红蛋白含量（HGB）、红细胞压积（HCT）、平均红细胞体积（MCV）、平均血红蛋白含量（MCH）和平均血红蛋白浓度（MCHC）。取促凝管血，3 000 r/min离心6 min，制备血清，用HITACHI7600全自动生化分析仪（HITACHI，日本）测定血清中谷草转氨酶、谷氨酰转移酶、胆碱酯酶、乳酸脱氢酶活力及总磷、白蛋白、尿素氮、胆固醇、甘油三酯、高密度脂蛋白、低密度脂蛋白、钙和葡萄糖的含量。

1.5 数据统计处理

采用统计软件 SPSS 16.0 中单因素方差分析程序对数据进行差异显著性检验。数据以“平均值±标准误”表示。以 $P<0.05$ 表示差异显著。

2 结果与分析

2.1 不同来源甘露聚糖酶对肉鸡生长性能影响

由表 3 可知，在 21 日龄，肉鸡的平均日增重、平均日采食量、料重比在 4 个组之间均未见显著差异（$P>0.05$）。在 42 日龄，组Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ平均日增重均显著高于对照组（$P<0.05$），组Ⅳ比对照组增加了 12%，同时与组Ⅱ、Ⅲ有显著差异（$P<0.05$）；组Ⅱ、Ⅲ平均日增重比对照组提高了约 7%。从平均日采食量来看，组Ⅱ、Ⅲ之间无显著差异（$P>0.05$），但显著高于对照组和组Ⅳ。从料重比来看，组Ⅳ显著优于其他各组（$P<0.05$），与对照组差异达 12.3%，与组Ⅱ、Ⅲ差异分别为 7.9%和 8.9%。组Ⅱ料重比与组Ⅲ差异不显著（$P>0.05$），但比对照组料重比减少了 4.1%（$P<0.05$）。总体结果显示添加微生物源和转基因来源的甘露聚糖酶对生长性能均有显著提高作用。

表 3 不同来源甘露聚糖酶对肉鸡生长性能的影响

Table 3 Effects of mannanase addition of different sources on growth performance of broilers

项目 Items	组Ⅰ Group Ⅰ	组Ⅱ Group Ⅱ	组Ⅲ Group Ⅲ	组Ⅳ Group Ⅳ	*P* 值 *P*-value
1~21 日龄 From 1 to 21 days of age					
平均日增重 ADG/(g/只)	30.13±0.21	31.05±0.31	30.23±0.12	30.29±0.35	0.67
平均日采食量 ADFI/(g/只)	52.59±0.25	53.02±0.26	52.82±0.23	52.91±0.66	0.53
料重比 F/G	1.75±0.03	1.71±0.02	1.75±0.04	1.75±0.03	0.39
1~42 日龄 From 1 to 42 days of age					
平均日增重 ADG/(g/只)	55.35±0.32^{c}	59.26±0.87^{b}	58.99±0.76^{b}	62.01±0.38^{a}	0.03
平均日采食量 ADFI/(g/只)	126.34±1.05^{b}	129.78±1.57^{a}	130.37±1.81^{a}	125.88±0.47^{b}	0.04
料重比 F/G	2.28±0.04^{a}	2.19±0.05^{b}	2.21±0.05^{ab}	2.03±0.04^{c}	0.03

同行数据肩标不同字母表示差异显著（$P<0.05$），肩标无或相同字母表示差异不显著（$P>0.05$）。表4同。

In the same row, values with different small letter superscripts mean significant difference ($P<0.05$), while with no or the same letter superscripts mean no significant difference ($P>0.05$). The same as Table 4.

2.2 不同来源甘露聚糖酶对肉鸡屠宰性能的影响

42 日龄肉鸡屠体未见病变和明显损伤。由表 4 可知，组Ⅳ屠宰率和全净膛率显著高于组Ⅱ和对照组（P<0.05），比对照组分别提高了 1.3%和 2.7%。而对照组屠宰率和全净膛率显著低于其他组（P<0.05）。但对照组的全净膛和胴体率与其他组差异均不显著（P>0.05）。腹脂率方面结果显示，组Ⅱ显著高于其他组（P<0.05），对照组、组Ⅲ、组Ⅳ之间差异不显著（P>0.05），组Ⅱ比对照组高了 23.8%，比组Ⅲ、组Ⅳ分别高了 19.7%和 19.0%。从胸肌率来看，组Ⅱ和Ⅳ分别比对照组提高了 11.5%和 12.3%（P<0.05），分别比组Ⅲ提高了 6.6%和 7.3%（P<0.05）。从腿肌率来看，组Ⅱ和Ⅳ分别比对照组提高了 10.8%和 14.5%（P<0.05）；组Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ之间差异不显著（P>0.05）。

表 4　不同来源甘露聚糖酶对 42 日龄肉鸡屠宰性能的影响

Table 4　Effects of mannanase addition of different sources on carcass performance of broilers at age of 42 days

项目 Items	组Ⅰ Group Ⅰ	组Ⅱ Group Ⅱ	组Ⅲ Group Ⅲ	组Ⅳ Group Ⅳ	P 值 P-value
屠宰率 Slaughter percentage/%	90.15±0.11^{c}	90.88±0.19^{b}	91.33±0.13^{a}	91.35±0.29^{a}	0.04
胴体率 Carcass percentage/%	90.58±0.30	88.08±9.00	91.09±0.88	91.68±1.97	0.30
全净膛 Eviscerated yield/g	1 626±155	1 500±154	1 447±112	1 585±231	0.35
全净膛率 Eviscerated yield percentage/%	70.67±0.18^{c}	71.92±0.62^{b}	72.1±0.16^{b}	72.61±0.43^{a}	0.04
腹脂率 Abdominal fat percentage/%	1.47±0.16^{b}	1.82±0.15^{a}	1.52±1.17^{b}	1.53±0.23^{b}	0.02
胸肌率 Breast muscle percentage/%	24.46±0.54^{b}	27.28±0.41^{a}	25.59±0.63^{b}	27.46±0.99^{a}	0.01
腿肌率 Leg muscle percentage/%	20.16±0.45^{b}	22.34±0.36^{a}	21.71±0.57^{ab}	23.10±0.96^{a}	0.04

2.3　不同来源甘露聚糖酶对肉鸡血液生理指标的影响

由表5可知，无论添加微生物源还是转基因玉米来源的甘露聚糖酶均未显著影响21和42日龄肉鸡血液中白细胞数、红细胞数、血红蛋白含量、红细胞压积、平均红细胞体积、平均血红蛋白含量和平均血红蛋白浓度（P>0.05）。

表5　不同来源甘露聚糖酶对肉鸡血液生理指标的影响

Table 5　Effects of mannanase addition of different sources on blood physiological indexes of broilers

项目 Items	白细胞数 WBC /(×10^{9} 个/L)	红细胞数 RBC /(×10^{12} 个/L)	血红蛋白含量 HGB/(g/dL)	红细胞压积 HCT/%	平均红细胞体积 MCV/fL	平均血红蛋白含量 MCH/pg	平均血红蛋白浓度 MCHC/(g/L)
21 日龄 21 days of age							
Group Ⅰ	276.33±3.67	2.27±0.05	111±4	0.35±0.01	131.77±2.39	48.30±1.58	366.67±5.69
Group Ⅱ	292.20±2.24	3.02±0.17	143±7	0.39±0.02	129.50±1.04	47.30±0.55	365.33±3.18

Group Ⅲ	294.75±2.05	2.85±0.08	136±6	0.37±0.01	130.50±0.20	47.85±0.95	366.50±6.50
Group Ⅳ	285.90±2.19	2.93±0.17	135±8	0.37±0.01	127.43±1.94	46.20±0.26	362.67±5.04
P 值 *P*-value	0.24	0.11	0.85	0.25	0.35	0.20	0.90
42 日龄 42 days of age							
Group Ⅰ	259.63±2.18	2.48±0.11	115±1	0.33±0.01	133.73±2.53	46.80±1.18	350.00±2.64
Group Ⅱ	269.17±6.76	2.39±0.14	119±4	0.33±0.01	138.03±2.29	49.87±1.33	361.33±3.75
Group Ⅲ	260.85±6.05	2.14±0.16	117±1	0.28±0.03	132.60±5.20	48.10±1.80	357.00±4.50
Group Ⅳ	254.88±8.72	2.61±0.11	119±1	0.33±0.03	137.45±0.45	49.55±0.65	360.50±3.50
P 值 *P*-value	0.07	0.13	0.08	0.11	0.23	0.43	0.23

同列数据肩标不同字母表示差异显著（*P*<0.05），肩标无或相同字母表示差异不显著（*P*>0.05）。下表同。

In the same column, values with different small letter superscripts mean significant difference (*P*<0.05)， while values with no or the same letter superscripts mean no significant difference (*P*>0.05). The same as below.

2.4 不同来源的甘露聚糖酶对肉鸡血清生化指标的影响

由表6可知，无论添加微生物源还是转基因玉米来源的甘露聚糖酶均未显著影响21和42日龄肉鸡血清中谷草转氨酶、谷氨酰转移酶、胆碱酯酶、乳酸脱氢酶活力及总磷、白蛋白、尿素氮、胆固醇、甘油三酯、高密度脂蛋白、低密度脂蛋白、钙和葡萄糖的含量（*P*>0.05）。

表6 不同来源甘露聚糖酶对肉鸡血清生化指标的影响

Table 6 Effects of mannanase addition of different sources on serum physiological indexes of broilers

胆碱酯酶 CHE/(U/L)	总磷 TP/(mmol/L)	白蛋白 ALB/(g/L)	尿素氮 UN/(mmol/L)	胆固醇 GHO/(mmol/L)	甘油三酯 TG/(mmol/L)	高密度脂蛋白 HDL/(mmol/L)	低密度脂蛋白 LDL/(mmol/L)	乳酸脱 LDH/(U
2 056.8±297.0	24.94±1.33	13.88±0.82	1.04±0.18	2.84±0.29	0.52±0.14	2.52±0.26	0.60±0.06	775.00±
2 507.0±336.6	24.58±2.87	14.93±1.18	1.15±0.18	3.03±0.21	0.54±0.07	2.75±2.99	0.70±0.05	808.17±
2 737.7±627.2	23.50±0.64	13.23±0.17	1.03±0.09	2.78±0.17	0.53±0.57	2.23±0.27	0.68±0.07	790.75±
2 035.3±222.2	23.43±0.47	13.65±0.83	0.84±0.08	2.73±0.24	0.55±0.11	2.19±0.20	0.58±0.07	785.83±
0.79	0.12	0.51	0.61	0.20	0.80	0.32	0.67	0.56
1 872.7±214.3	33.90±1.35	15.43±0.45	0.85±0.10	3.08±0.14	0.41±0.07	2.55±0.12	0.69±0.06	807.00±
2 145.8±175.6	34.73±1.45	16.70±0.33	0.67±0.06	3.26±0.26	0.38±0.04	2.56±0.20	0.82±0.09	740.33±
2 038.2±150.0	33.31±1.51	16.16±0.87	0.71±0.07	3.45±0.18	0.41±0.06	2.70±0.17	0.81±0.07	773.50±
1 861.8±155.7	36.36±0.82	16.03±0.48	0.85±0.08	3.23±0.19	0.38±0.03	2.50±0.15	0.79±0.09	874.67±
0.62	0.41	0.50	0.35	0.66	0.94	0.86	0.66	0.59

3 讨 论

甘露聚糖在植物性饲料原料中有很高的含量，我国北方的饲粮配方以玉米-豆粕型和小麦-豆粕型为主，粕类饲粮含有较多的甘露聚糖黏性抗营养因子，含量为 1.5%～1.6%[5-6]。β-甘露聚糖酶主要作为外源性酶参与畜禽动物的机体活动，已有报道表明甘露聚糖酶的使用能显著提高饲粮能量利用率，促进改善动物生长性能，降低饲料成本，是一种新型的饲料添加剂[7-8]。通过玉米表达饲用酶将是今后转基因技术开发营养型饲料原料的新途径，而转基因玉米的饲用安全性评价将是其进一步实际应用的重要基础。前期研究对甘露聚糖酶转基因玉米与优良自交系郑 58 种子成分进行比较，结果显示，水分、粗蛋白质、粗脂肪、粗纤维、粗灰分、无氮浸出物及 14 种氨基酸在两者的籽粒没有显著性的差异[4]。本试验通过肉鸡饲喂，进一步比较了甘露聚糖酶转基因玉米来源与微生物发酵来源的β-甘露聚糖酶对肉鸡生长性能、屠宰性能及血液生理生化指标各方面的影响差异，对甘露聚糖酶转基因玉米饲用效应及安全性进行了初步的评价。

在生长性能方面，本研究实验结果表明，在 1~21 日龄时，肉鸡的平均日增重、平均日采食量、料重比在两组之间未见显著差异，但在 1~42 日龄，无论是转基因玉米来源还是微生物来源的甘露聚糖酶都显著提高了肉鸡生长性能。与此同时，试验结果还表明，其中 2 个甘露聚糖酶活力相当的试验组的肉鸡生长性能无显著差异，说明在 500 U/kg 酶活条件下，转基因玉米中的甘露聚糖酶与微生物来源的酶促生长的效果相当。本试验还认为转基因玉米提供 5 000 U/kg 时对平均日增重的促进要比低剂量（500 U/kg）组更为显著，比对照组提高了 12%。从平均日采食量来看，低剂量微生物来源组和低剂量转基因玉米组显著高于对照组和高剂量转基因玉米组，低剂量微生物来源组和低剂量转基因玉米组间无显著差异，对照组和高剂量转基因玉米组无显著差异。这说明在 2 种来源的甘露聚糖酶在低剂量添加时能达到最好的效应。从料重比来看，高剂量转基因玉米组显著高于其他各组，低剂量转基因玉米组与低剂量微生物来源组和对照组间差异均不显著，但是低剂量微生物来源组显著高于对照组。总体来看，添加微生物来源和转基因来源的甘露聚糖酶对生长性能均有提高作用，其中在平均日增重和料重比 2 个指标上高剂量组的影响更为显著。

从屠宰率看，高剂量转基因玉米组显著高于其他组，而低剂量转基因玉米组和低剂量微生物来源组又显著高于对照组，说明肉鸡饲粮中甘露聚糖酶的添加能提高屠宰率，而其中以高剂量（5 000 U/kg）的影响更大，处理后效果最为显著，与对照组差异达到 1.3%。这与乔海云等[9]在肉鸡基础饲粮的基础上添加 0.06%饲用级甘露聚糖酶屠宰率比对照组增加了 1.44%结果相似。低剂量微生物来源组和高剂量转基因玉米组都能显著提高胸肌率，但对两者的影响还有一定差异。与对照组相比，高剂量（5 000 U/kg）转基因玉米组胸肌率显著提高了 12.3%，低剂量（500 U/kg）微生物来源组也能有效提高 11.5%，但相同酶活力的低剂

量转基因玉米组对胸肌率的影响与对照组没有差异。从腿肌率来看，高剂量（5 000 U/kg）转基因玉米组和低剂量（500 U/kg）微生物来源组都能显著提高腿肌率，但低剂量（500 U/kg）转基因玉米组与对照组间差异却不显著，同时与高剂量转基因玉米组及低剂量微生物来源组的差异也不显著。以上结果表明虽然酶活力相同，但低剂量转基因玉米组与低剂量微生物来源组对肌肉生长的影响不同，微生物发酵来源的纯酶制剂能够有效提升胸肌及腿肌的生长，但转基因玉米可能由于其他成分的影响并未发挥微生物源酶相同的促肌肉生长作用，详细的机理还需进一步研究。在腹脂率方面，微生物来源甘露聚糖酶显著增加了腹脂率，但相同酶活力（500 U/kg）的低剂量转基因玉米组和高剂量（5 000 U/kg）转基因玉米组与对照组相比却未造成显著差异，这是否由于 2 个转基因玉米组所包含的其他成分不利于肉鸡腹脂的增加也还需进一步研究。总体上，除了微生物来源甘露聚糖酶增加了腹脂率外，无论是添加微生物来源还是转基因玉米来源甘露聚糖酶均可显著提高或不影响肉鸡相关屠宰性能，说明转基因玉米来源甘露聚糖酶能对于粕类原料中所含的各类甘露聚糖抗营养因子进行降解转化，从而有效促进肉鸡生长发育，获得与微生物来源酶相似的效果。换言之，在玉米籽粒中表达的甘露聚糖酶在肉鸡体内能够有效发挥其生物活性并且没有带来不利影响。

生理生化活动是生命体基本的生命活动，肉鸡血液生理生化指标的正常与否揭示了其生命活动的健康状态的好坏。刘莎莎等[10]对抗草甘膦转基因豆粕饲粮饲用安全性的研究结果表明，除 42 日龄时转基因豆粕组与对照组比较丙氨酸转氨酶和碱性磷酸酶有显著差异外，对肉鸡其余血清生化指标均没有显著差异影响。国内有关饲粮添加甘露聚糖酶对肉鸡生长的研究主要集中在对生长性能、屠宰性能以及免疫功能方面，已有相关报道还未见对肉鸡生理生化指标影响进行研究。本试验研究表明，无论是低剂量微生物来源和低剂量转基因玉米组，还是高剂量转基因玉米组，均未对所测试血液生理生化指标有显著影响，这说明肉鸡饲粮中添加转基因玉米来源的甘露聚糖酶不会对肉鸡的生长造成影响，表现出很好的饲用安全性。

由转基因作物生产的转基因食品其安全性问题到目前还存在巨大的争议[11]，同转基因食品安全性争议一样，关于转基因农作物饲用是否会对动物和人体健康造成影响并不确定[12]。针对转基因生物饲用安全性评价进行的研究将有力促进其在饲料安全生产及应用中的进程[13-15]。总体来看，饲粮中添加来源于转基因玉米不同剂量的甘露聚糖酶对肉鸡生长性能和屠宰性能都有较好的促进，同时也没有对肉鸡血液生理生化指标造成影响，本文的研究结果无疑为转甘露聚糖酶基因玉米在饲用功能型转基因生物的产业化过程中提供了很好的参考。

4 结 论

① 总体上，低剂量转基因玉米来源与微生物发酵来源甘露聚糖酶对肉鸡的生长性能及

屠宰性能均有相似的促进和改善，部分没有改善的指标也未发生不利影响。

② 相比较而言，饲粮添加高剂量转基因玉米比低剂量效果更为显著，而无论高剂量还是低剂量转基因玉米均未对肉鸡血液生理生化指标造成显著影响，由此认为针对饲料营养功能型研发的甘露聚糖酶转基因玉米具有较好的饲用安全性。

参考文献：

[1] 辛总秀.β-甘露聚糖酶在家禽饲料中应用的研究进展[J].畜牧与饲料科学,2011,32(5):28–30.

[2] 杨新建.β-甘露聚糖酶在饲料中的应用[J].中国牧业通讯,2008(18):41–42.

[3] CHEN R M,XUE G X,CHEN P,et al.Transgenic maize plants expressing a fungal phytase gene[J].Transgenic Research,2008,17(4):633–643.

[4] XU X L,ZHANG Y H,MENG Q C,et al.Overexpression of a fungal β-mannanase from *Bispora* sp.MEY-1 in maize seeds and enzyme characterization[J].PLoS One,2013,8(2):e56146,doi:10.1371/journal.pone.0056146.

[5] 北京联合盛邦生物技术有限公司.β-甘露聚糖酶的制备及其在饲料工业中的应用进展[J].中国动物保健,2010,12(1):82–85.

[6] 黄小文,刘雪山,徐凤芹,等.甘露聚糖酶对小猪生产性能的影响[J].饲料工业,2003,24(1):15–27.

[7] 李海英,刘珩,肉孜买买提,等.β-甘露聚糖酶对肉鸡生产性能的影响[J].饲料研究,2008,10:1–3.

[8] 陈权军,邓岳松,罗永发,等.新型饲料添加剂——β-甘露聚糖酶[J].中国家禽,2007,29(3):60–61.

[9] 乔海云,王海宏,丁宏标.重组毕赤酵母表达的甘露聚糖酶对肉鸡营养物质代谢和屠宰性能的影响[J].黑龙江畜牧兽医:科技版,2010(11):75–77.

[10] 刘莎莎,谭建庄,孙哲,等.转基因成分在肉鸡体内的代谢残留及对生化指标、器官发育的影响[J].饲料工业,2011,32(9):19–25.

[11] 张华,王静.转基因食品及其安全性评价[J].粮食与油脂,2004(6):29–31.

[12] ANONYMOUS.Genetically modified animal feed[Z].Friends of the Earth Europe.2006.

[13] 孟昆,杨培龙,姚斌.转基因农作物饲用安全性评价及管理的紧迫性[J].动物营养学报,2015,27(4):1005–1010.

[14] 林波,谭支良.转基因农作物及其副产品饲料化的营养价值与安全性研究综述[J].家畜生态学报,2008,29(1):106–112.

[15] 张军民,胡广东,高振川.转基因食品与饲料安全及其评价[J].中国农业科技导报,2002,4(4):21–26.

Effects of Feed-Used Mannanase Transgenic Corn on Growth Performance, Carcass Performance and Blood Physiological and Biochemical Indexes of Broilers

MENG Kun　CHEN Guilan　LIU Guohua　YANG Peilong　YAO Bin*

(*Key Laboratory for Feed Biotechnology of the Ministry of Agriculture*, *Feed Research Institute*, *Chinese Academy of Agricultural Sciences*, *Beijing* 100081, *China*)

Abstract: This experiment was conducted to investigate the effects of mannanase transgenic corn on growth performance, carcass performance and blood physiological and biochemical indexes of broilers. A total of 480 one-day-old Arbor Acres (AA) broilers were randomly allocated to 4 groups, with 6 six replicates per group and 20 broilers per replicate. The four groups showed as follows: group Ⅰ, broilers fed non-transgenic corn without addition of mannanase as the control; group Ⅱ, broilers fed non-transgenic corn with addition of microbial mannanase at low dosage of mannanase activity (500 U/kg); group Ⅲ, broilers fed mannanase transgenic corn with low dosage of mannanase activity (500 U/kg); and group Ⅳ, broilers fed mannanase transgenic corn with high dose of mannase activity (5 000 U/kg). The trial lasted for 42 d. The results showed that the average daily gain of broilers aged of 42 days in groups Ⅲ and Ⅳ was significantly higher and the ratio of feed to gain was significantly lower than those in control group (P<0.05). Slaughter percentage, eviscerated percentage of broilers aged of 42 days in group Ⅳ were significantly higher than those in group Ⅱ and control group(P<0.05). No significant differences were observed among the 4 groups in blood physiological and biochemical indexes (P>0.05). It is concluded that diet added mannanase transgenic corn can significantly improve the growth and carcass performance of broilers, while has no significant effects on the blood physiological and biochemical indexes.

Key words: mannanase transgenic corn; carcass performance; growth performance; broilers

*Corresponding author, professor, E-mail: yaobin@caas.cn; binyao@caas.cn （责任编辑　陈燕）